

**Fiber optical amplifier, has multimode dual core fiber with transversal mode selection element on it or in it near one end that suppresses higher modes than fundamental mode**

**Patent number:** DE10009379

**Publication date:** 2001-09-13

**Inventor:** TUENNERMANN ANDREAS (DE); ZELLMER HOLGER (DE)

**Applicant:** SCHNEIDER LASER TECHNOLOGIES A (DE)

**Classification:**

- **International:** H01S3/067; H01S3/094; H01S3/098

- **European:** H01S3/067G

**Application number:** DE20001009379 20000229

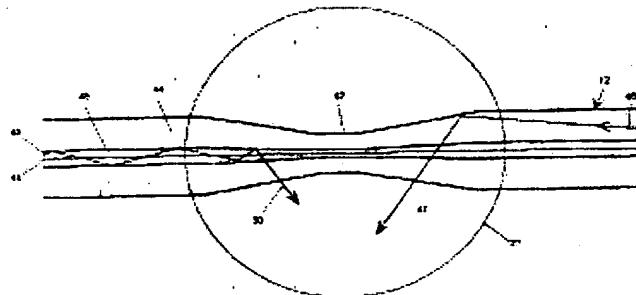
**Priority number(s):** DE20001009379 20000229

**Also published as:**

 US2002018287 (A1)

**Abstract of DE10009379**

The amplifier has a laser source of narrowband signal radiation at one or more wavelengths at a first end of an amplifier fiber (12). Amplified signal radiation can be coupled out of the second fiber end. The multimode dual core fiber has a pump core and a laser core that is end pumped or laterally pumped. The fiber has a transversal mode selection element (27) on it or in it near one end that suppresses higher modes than the fundamental mode.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND  
  
DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(17) **Patentschrift**  
(10) DE 100 09 379 C 2

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 S 3/067**  
H 01 S 3/094  
H 01 S 3/098

(21) Aktenzeichen: 100 09 379.5-33  
(22) Anmelddetag: 29. 2. 2000  
(43) Offenlegungstag: 13. 9. 2001  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 4. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(72) Patentinhaber:

SCHNEIDER Laser Technologies Aktiengesellschaft,  
07548 Gera, DE

(74) Vertreter:

Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80687  
München

(72) Erfinder:

Zellmer, Holger, Dr., 99441 Magdala, DE;  
Tünnermann, Andreas, Prof. Dr., 07743 Jena, DE.

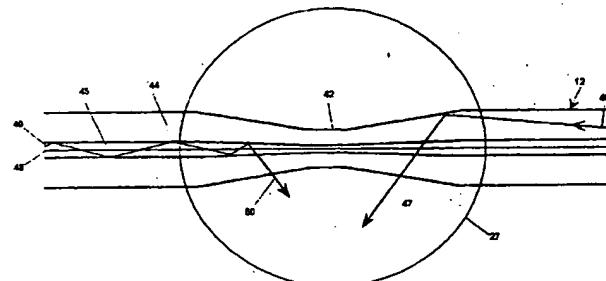
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 195 35 526 C1  
DE 68. 920 27 0T2  
US 55 08 842  
WO 95 10 868 A1  
JP 1 0-24 25 48a A

Opt. Lett. 25, 1, (Jan. 2000), S. 37-39;

(54) Faseroptischer Verstärker

(57) Faseroptischer Verstärker mit einer Verstärkerfaser (12), der schmalbandig auf einer oder mehreren Wellenlängen in ein erstes Ende der Verstärkerfaser (12) eingekoppelte Signalstrahlung an einem zweiten Ende der Verstärkerfaser als verstärkte Signalstrahlung (15) auskoppelt, wobei die Verstärkerfaser (12) eine Doppelkernfaser mit einem Pumpkern (44) und einem Laserkern (45) ist und end- oder seitenpumpbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkerfaser (12) eine Multimode-Doppelkern-Faser ist, und daß an der oder innerhalb der Verstärkerfaser (12) im Bereich des ersten Endes ein Element zur transversalen Modenselektion (27) angeordnet ist, welches höhere Transversal-Moden als die transversale Grundmode unterdrückt.



DE 100 09 379 C 2

DE 100 09 379 C 2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen faseroptischen Verstärker mit einer Verstärkerfaser, der schmalbandig auf einer oder mehreren Wellenlängen in ein erstes Ende der Verstärkerfaser eingekoppelte Signalstrahlung an einem zweiten Ende der Verstärkerfaser als verstärkte Signalstrahlung auskoppelt, wobei die Verstärkerfaser eine Doppelkernfaser mit einem Pumpkern und einem Laserkern ist und end- oder seitennumpbar ist.

[0002] Faseroptische Verstärker (Faserverstärker) sind in der Telekommunikation seit längerem Stand der Technik. Mit ihnen werden in der Regel gepulste Signale verstärkt. Seit einiger Zeit werden auch Doppelkernfasern eingesetzt, wie diese zum Beispiel in der DE 195 35 526 C1 oder der WO 95/10868 A1 beschrieben sind. Zur Erzeugung leistungsfähiger Pulse werden gegenwärtig konventionelle Verstärkerstufen mit Kristallen als Verstärkerelement benutzt.

[0003] Der Vorteil einer faseroptischen Lösung ist ein demgegenüber vereinfachter Aufbau. Das Problem bei der faseroptischen Nachverstärkung von schmalbandigen und gepulsten Lasern liegt jedoch in nichtlinearen optischen Effekten in den Fasern. Diese hängen in der Regel von der Leistungsdichte (Leistung pro Fläche) und der Faserlänge ab. Es ist erforderlich, die Fasern möglichst kurz zu halten und Fasern mit großer Querschnittsfläche zu verwenden. Fasern mit großer Querschnittsfläche sind aber in der Regel multimodig, d. h. die Verstärkung in solchen Fasern führt im allgemeinen zu einer Verschlechterung der Strahlqualität. Bei Faserlasern konnte dieses Problem durch die Verwendung von sogenannten Large mode area fibers gelöst werden (siehe J. A. Alvarez-Chavez et al.; High energy, high-power ytterbium-doped Q-switched fiber laser, Opt. Lett. 25, 1, Jan. 2000; S. 37-39).

[0004] Eine gleichzeitige Reflexion des Pumplichts am Faserende, die eine Verkürzung der Faser erlaubt, war jedoch bisher nicht möglich.

[0005] In einer Verstärkungsfaser kann eine Verjüngung integriert werden, wie es aus dem Abstract zu JP 10242548 A oder der US 5.508.842 bekannt ist. Weiter sind in der DE 689 20 270 T2 Modenfeld-Modifizierer beschrieben.

[0006] Die Erfindung soll einen einfach aufgebauten faseroptischen Verstärker liefern, der eine Laserstrahlung großer Leistung mit geringer Strahldivergenz erzeugt.

[0007] Diese Aufgabe wird bei einem faseroptischen Verstärker der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß die Verstärkerfaser eine Multimode-Doppelkern-Faser ist, und daß an der oder innerhalb der Verstärkerfaser im Bereich des ersten Endes ein Element zur transversalen Modenselektion angeordnet ist, welches höhere Transversal-Moden als die transversale Grundmode unterdrückt. Die Unteransprüche definieren vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0008] Die Erfindung ermöglicht einen größeren Kern durchmesser für die Verstärkerfaser, ohne daß sich die Strahlqualität verschlechtert, weil höhere Transversalmoden nicht in der Verstärkerfaser geführt werden.

[0009] Ein adiabatischer Taper ist eine Verjüngung der Faser über eine kurze Strecke von wenigen Millimetern bis Zentimetern. Typisch liegt die Länge der Verjüngung im Bereich von 1 mm bis 5 cm. Die Strecke, auf der die Faser sich verjüngt, ist so lang zu bemessen, daß so viele Totalreflexionen stattfinden, daß das Strahlparameterprodukt der in der Faser geführten Laserstrahlung erhalten bleibt. Durch die vielen Reflexionen an den konischen Mantelflächen der Faser, sinkt der Modenfelddurchmesser in der Faser, während gleichzeitig die numerische Apertur steigt. Schließlich wird für höhere Transversalmoden die numerische Apertur der

Faser zuerst überschritten und die höheren Moden werden abgestrahlt. Nur oder überwiegend die transversale Grundmode wird durch den Taper transmittiert.

[0010] Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Figuren beschrieben. Es zeigt:

[0011] Fig. 1 einen faseroptischen Verstärker nach dem Stand der Technik,

[0012] Fig. 2 einen faseroptischen Verstärker mit einem Element zur transversalen Modenselektion,

[0013] Fig. 3 einen faseroptischen Verstärker mit einem Element zur transversalen Modenselektion und einem Reflektor für die Pumpstrahlung,

[0014] Fig. 4 ein Element zur transversalen Modenselektion in der Ausführung als ein getaperter Abschnitt einer Verstärkerfaser,

[0015] Fig. 5 ein Element zur transversalen Modenselektion in der Ausführung als ein getaperter Abschnitt einer Verstärkerfaser mit einem Reflektor für die Pumpstrahlung,

[0016] Fig. 6 ein Element zur transversalen Modenselektion in der Ausführung als Modenscrambler und

[0017] Fig. 7 ein Element zur transversalen Modenselektion in der Ausführung als Modenscrambler mit einem Reflektor für die Pumpstrahlung.

[0018] Fig. 1 zeigt einen faseroptischen Verstärker nach dem Stand der Technik. Er weist eine Laserstrahlquelle 11 auf, deren Signalstrahlung in einer aktiven Verstärkerfaser 12 nachverstärkt wird. Die Signalstrahlung hat, je nach Anwendungsfall, besondere Eigenschaften, die bei der Verstärkung erhalten bleiben sollen. Ein Beispiel dafür ist eine besonders schmalbandige Emission bei einer bestimmten oder bei mehreren bestimmten Wellenlängen. Ein anderes Beispiel ist kontinuierlicher oder gepulster Betrieb der Laserstrahlquelle 11. So sind zum Beispiel Pulsdauern im Bereich zwischen 100 fs und 1 µs, insbesondere im Bereich von 1 ps bis 50 ps technisch besonders interessant.

[0019] Die Laserstrahlquelle 11 kann konventionell, zum Beispiel als Festkörperlaser, oder auch faseroptisch aufgebaut sein. Die Verstärkerfaser 12 ist im Beispiel als Selten-Erd-dotierte Doppelkernfaser mit einem den aktiven Laserkern umgebenden Pumpkern aufgebaut. An einem ersten Ende ist sie mit der Laserstrahlquelle 11 optisch gekoppelt.

[0020] Weiter wird der Verstärkerfaser 12 aus einer Pumpquelle 13 durch eine Endfläche an einem zweiten Faserende eine zur Verstärkung erforderliche Pumpstrahlung zugeführt (endgepumpter Verstärker). Alternativ ist eine transversale Zuführung der Pumpstrahlung durch die Fasermantelfläche möglich (nicht dargestellt). In die Verstärkerfaser 12 ist bei dem in Fig. 1 dargestellten endgepumpten System am zweiten Faserende eine Auskoppeleinrichtung für verstärkte Signalstrahlung 14 integriert. Das kann im einfachsten Fall ein dichroitischer Spiegel sein, der Pumpstrahlung und verstärkte Signalstrahlung voneinander trennt. Es können aber auch sogenannte Wavelength Division Multiplexer (WDM) verwendet werden.

[0021] Weiterhin ist es vorteilhaft, in der Verstärkerfaser 12 im Bereich ihres ersten Endes einen Reflektor 16 für die Pumpstrahlung einzubauen. Dieser sorgt bei gegensinnigem Lauf von Pumpstrahlung und Signalstrahlung für die Reflexion der Pumpstrahlung. Durch die Reflexion der Pumpstrahlung kann diese auch in einer kürzeren Verstärkerfaser vollständig absorbiert werden.

[0022] Fig. 2 zeigt einen endgepumpten faseroptischen Verstärker, der erfindungsgemäß im Bereich des ersten Endes der Verstärkerfaser, dort wo die zu verstärkende Signalstrahlung eingekoppelt wird, mit einem Element zur transversalen Modenselektion 27 ausgestattet ist. Dieses Element hat die Aufgabe, höhere Transversalmoden zu eliminieren und nur die transversale Grundmode zu transmittieren.

[0023] So wird bei einem erfundungsgemäßen Faserverstärker zur Verringerung der Leistungsdichte in der Verstärkerfaser der aktive Kern der Faser vergrößert, wodurch nichtlineare Effekte, wie z. B. stimulierte Brillouin Streuung (SBS), stimulierte Raman Streuung (SRS) und Selbstphasenmodulation (SPM) vermieden bzw. verringert werden. Diese führen ansonsten regelmäßig zu einer erheblichen Verschlechterung der Strahlqualität.

[0024] Das Element zur transversalen Modenselektion 27 hat nun zur Folge, daß höhere Moden der internen Laserstrahlung eliminiert werden und im wesentlichen nur die Grundmode verstärkt wird. Somit' wird eine exzellente Strahlqualität der verstärkten Laserstrahlung erhalten.

[0025] Dabei ist es zweckmäßig, die Pumpstrahlung und die zu verstärkende Signalstrahlung gegenläufig durch die Verstärkerfaser 12 propägieren zu lassen, da dann auf der Auskoppelseite der Signalstrahlung am zweiten Ende der Verstärkerfaser 12 – also dort, wo die Signalstrahlung zu hohen Intensitäten verstärkt worden ist – die höchste Pumpleistungsdichte vorliegt. Das Element zur Modenselektion sollte möglichst nah an der Seite liegen, an der die Signalstrahlung eingekoppelt wird, also gegenüber der Pumpseite, am ersten Ende der Verstärkerfaser. Daher sind endgepumpte Systeme besonders vorteilhaft. Zur Auskopplung der Signalstrahlung 15 und zur Einkopplung des Pumplichts aus der Pumpquelle 13 in die Verstärkerfaser 12 ist eine Auskoppelvorrichtung 14 am zweiten Ende der Verstärkerfaser vorgesehen.

[0026] Fig. 3 zeigt den faseroptischen Verstärker 2 mit dem Element zur transversalen Modenselektion und einem zusätzlichen Reflektor 16 für die Pumpstrahlung bei einem transversal gepumpten System. Hier ist eine Auskoppelleinrichtung für die verstärkte Signalstrahlung 14 nicht erforderlich. Die Pumplichtquelle 13 ist hier beispielsweise ein Diodenlaser, dessen Strahlung mittels Prismen, Beugungsgittern oder Schmelzkopplern in die aktive Faser eingekoppelt wird (siehe z. B. WO 95/10868).

[0027] Fig. 4 zeigt das Element zur transversalen Modenselektion 27 in der Ausführung als getaperter Abschnitt einer Verstärkerfaser 12. Ein solcher getaperter Abschnitt ist im Beispiel der Fig. 4 eine adiabatische Verjüngung 42 in einer Doppelkernfaser 41, bestehend aus einem Laserkern 45 und einem diesen umgebenden Pumpkern 44. Diese adiabatische Verjüngung 42 erstreckt sich über eine Strecke von 3 cm. Dabei ist die Strecke, auf der die Faser verjüngt ist, so lang, daß so viele Totalreflexionen stattfinden, daß das Strahlparameterprodukt dabei erhalten bleibt. Durch die vielen Reflexionen an den konischen Mantelflächen der Faser, sinkt der Modenfelddurchmesser in der Verstärkerfaser 12, während gleichzeitig die numerische Apertur ansteigt. Schließlich wird für höhere Transversalmoden 49 die numerische Apertur des Laserkerns zuerst überschritten und diese höheren Moden 50 werden abgestrahlt. Die transversale Grundmode 48 wird durch die adiabatische Verjüngung 42 transmitiert.

[0028] Fig. 5 zeigt eine Weiterbildung des faseroptischen Verstärkers der Fig. 4. Durch eine Verspiegelung eines Teils der adiabatischen Verjüngung 42 mit einer metallischen oder einer dielektrischen Spiegelschicht 53 wird das Pumplicht 46 im Pumpkern 44 der Doppelkernfaser 41 reflektiert. Dazu ist die reflektierende Beschichtung auf der Seite der Verjüngung aufgebracht, die weiter von der Laserquelle 11 entfernt liegt.

[0029] Reflektiertes Pumplicht 67 wird dann in die Verstärkerfaser zurückreflektiert und wirkt dann entlang deren Längsverlaufes. Die Länge der Verstärkerfaser kann auf diese Weise beträchtlich reduziert werden, zum Beispiel um die Hälfte. Die adiabatische Verjüngung dient hier gleichzei-

tig als Einrichtung zur Modenselektion 27 und als Pumplichtreflektor 16.

[0030] Fig. 6 zeigt das Element zur transversalen Modenselektion 27 in der Ausführung als Modenscrambler.

[0031] Fig. 7 zeigt das Element zur transversalen Modenselektion 27 in der Ausführung als Modenscrambler mit Reflektor 73 für die Pumpstrahlung 46.

#### Patentansprüche

1. Faseroptischer Verstärker mit einer Verstärkerfaser (12), die schmalbandig auf einer oder mehreren Wellenlängen in ein erstes Ende der Verstärkerfaser (12) eingekoppelte Signalstrahlung an einem zweiten Ende der Verstärkerfaser als verstärkte Signalstrahlung (15) auskoppelt, wobei die Verstärkerfaser (12) eine Doppelkernfaser mit einem Pumpkern (44) und einem Laserkern (45) ist und end- oder seitennumpbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkerfaser (12) eine Multimode-Doppelkern-Faser ist, und daß an der oder innerhalb der Verstärkerfaser (12) im Bereich des ersten Endes ein Element zur transversalen Modenselektion (27) angeordnet ist, welches höhere Transversal-Moden als die transversale Grundmode unterdrückt.

2. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Element zur transversalen Modenselektion (27) eine örtlich begrenzte Verringerung des Durchmessers des Laserkerns (45) oder des Durchmessers des Laserkerns (45) und des Pumpkerns (44) ist.

3. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser über einen Bereich von 1 mm bis 5 cm, insbesondere einen Bereich von 1 cm bis 3 cm der Längenausdehnung der Verstärkerfaser verringert ist, wobei der Durchmesser des Pumpkerns (44) und des Laserkerns (45) in diesem Bereich mindestens um 50% ihrer Nennendurchmesser reduziert sind, insbesondere der Laserkern (45) auf einen Durchmesser kleiner 10 µm reduziert ist.

4. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Element zur transversalen Modenselektion ein Modenscrambler ist, der eine wellenförmige Verkrümmung der Verstärkerfaser bewirkt.

5. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserkern (45) einen Durchmesser größer 6 µm hat, und insbesondere zwischen 20 µm und 50 µm liegt.

6. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an dem ersten Ende der Verstärkerfaser (12) ein Element zur Pumpstrahlungsreflexion (16) angeordnet ist.

7. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 2 und Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Element zur Pumpstrahlungsreflexion (16) eine reflektierende Beschichtung (63) auf dem Mantel des Pumpkerns (41) ist, wobei die reflektierende Beschichtung an der Seite der Verjüngung aufgebracht ist, die dem zweiten Ende der Verstärkerfaser (12) näher liegt, so daß das Pumplicht in Richtung des zweiten Endes der Verstärkerfaser (12) hin reflektiert wird, und die reflektierende Beschichtung den Bereich der Verringerung des Durchmessers vollständig umschließt.

8. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 4 und Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Element zur Pumpstrahlungsreflexion (16) eine reflektierende Beschichtung ist, die auf der Stirnfläche des ersten Endes

der Verstärkerfaser (12) aufgebracht ist.  
9. Faseroptischer Verstärker nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Laserquelle (11), die kontinuierliche oder gepulste Signalstrahlung emittiert.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

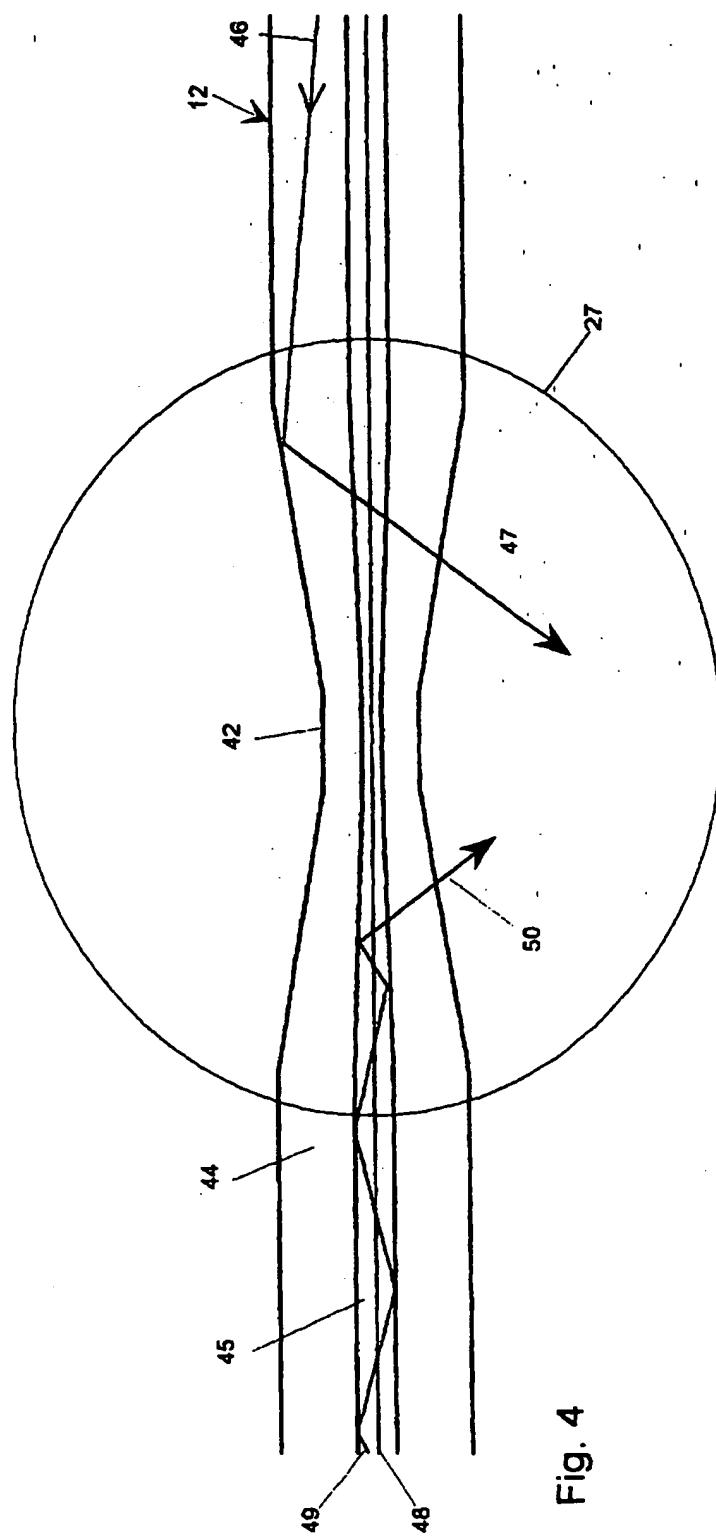


Fig. 4

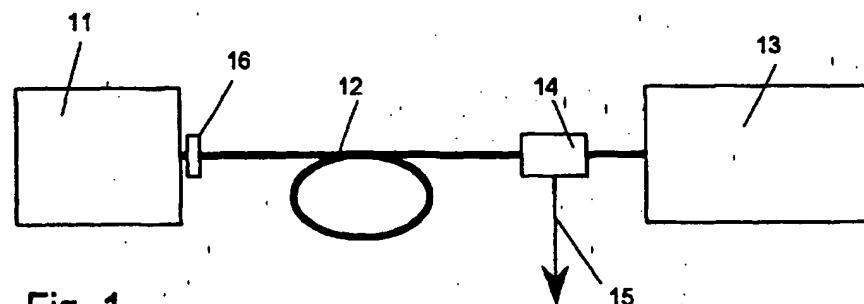


Fig. 1

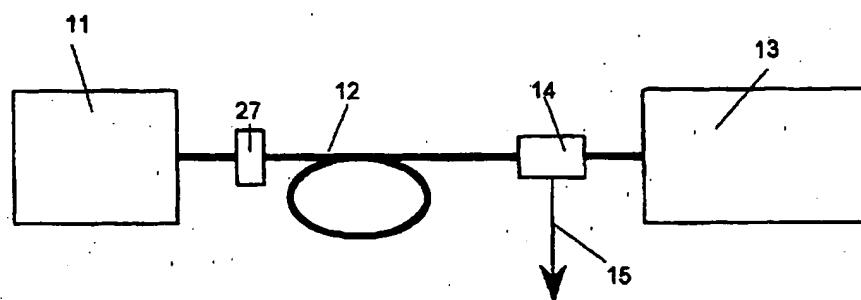


Fig. 2

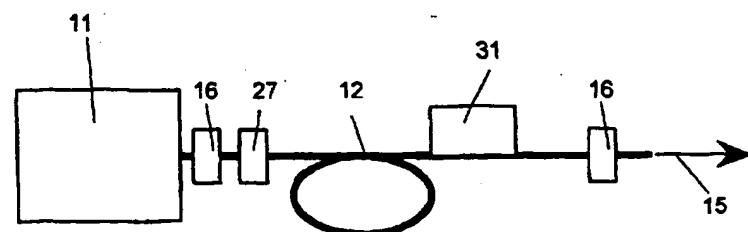


Fig. 3

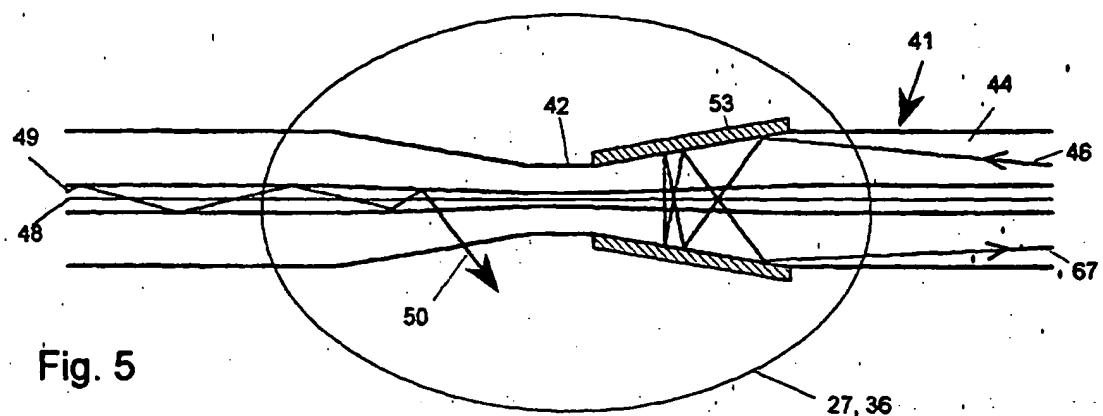


Fig. 5

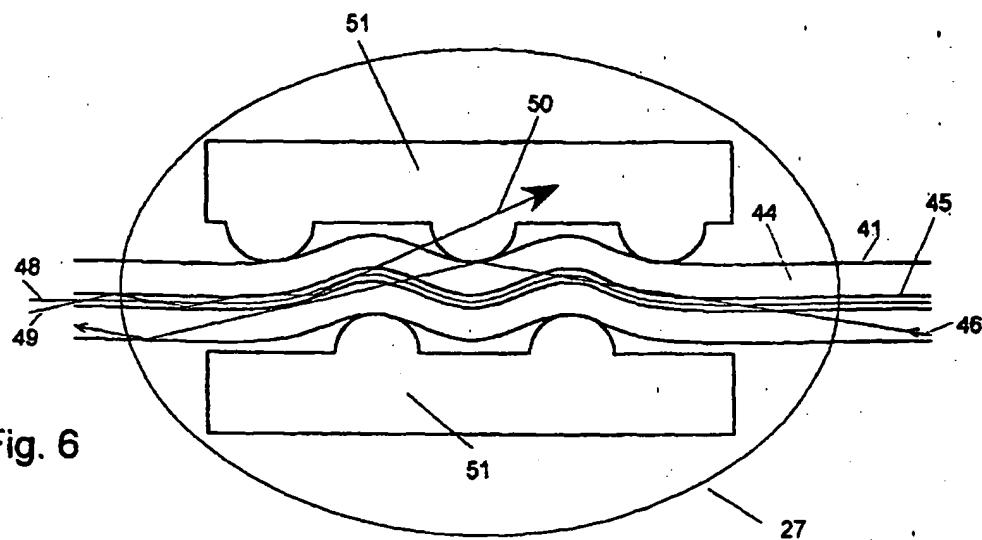


Fig. 6

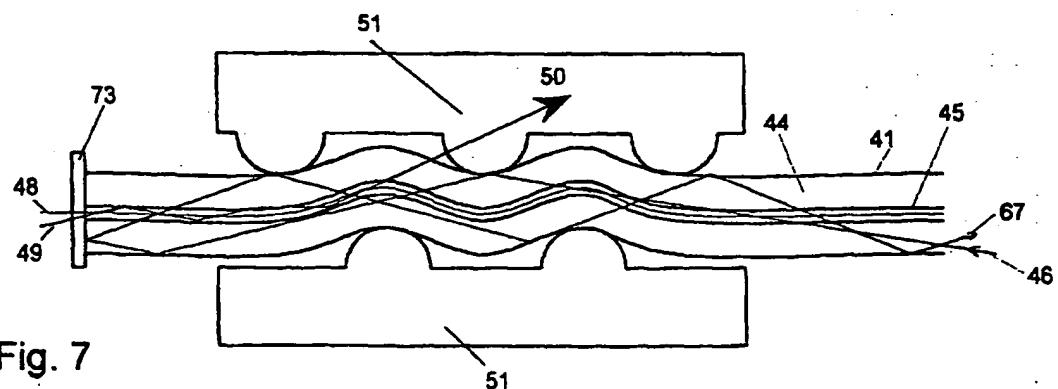


Fig. 7